



図1 バスの運行シミュレーション。緑色の玉がバスを表し、水色のバーがバス停で待っている乗客を表しています。



図3 アリのダンゴ運転である行列行進

図2 鉄道ネットワークのシミュレーション。このシミュレーションから、どの車両が混んでいるか、どの区間でダンゴ運転が生じているかがわかります。



(a) Initial stage



(b) Latest stage

渋滞現象を数理で解明



友枝明保

Akiyasu Tomoeda

ともえだ・あきやす
 明治大学先端数理科学インスティテュート研究推進員
 (ポスト・ドクター)
 東京大学先端科学技術研究センター特任研究員
 1980年 広島県広島市生まれ
 2006年3月 大阪大学大学院情報科学研究科情報基礎
 数学専攻博士前期課程修了
 2009年3月 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工
 学専攻博士後期課程修了 工学博士
 2009年4月から現職
【研究分野】
 渋滞学：特に交通流モデル、セルオートマトン理論、流体
 力学、摂動論、超離散法
【所属学会】
 日本応用数理学会、日本流体力学会、日本オペレーション
 ズ・リサーチ学会

「渋滞」という言葉を聞くと、みなさんはどういう状況を思い浮かべるでしょうか？おそらく大部分の人が連休のニュースで流れるような高速道路の渋滞、あるいは信号待ちをしている車の渋滞を想像するのではないのでしょうか。もちろん車の渋滞も渋滞現象の一つですが、「渋滞」という現象を「流れているモノが流れにくくなる現象」と考えると、車の流れだけが渋滞するのではなく、身の回りの様々なモノが渋滞していることに気づくと思います。例えば、携帯やインターネットがつながりにくくなることもパケットというモノの渋滞と考

えることができますし、人やアリのなどの生物においてもその個体の混雑や行列といった形で渋滞が生じています。また、「渋滞」と聞くと悪いイメージばかりが思い浮かぶかもしれませんが、好ましい渋滞も存在するのです。燃え広がる火や伝染病の拡大を一種の流れとして考えると、火事の渋滞や伝染病の渋滞は我々にとって好ましい渋滞と言えるでしょう。このように流れるモノが悪いモノであれば、渋滞現象も好ましい現象となりうるのです。私の研究は、これらの様々な渋滞現象を抽象化することで得られる数理モデルを基盤として、様々な

ける「ダンゴ運転」のからくりを解明するために、バスの運行システムを抽象化し、数理モデルを作ります。図1が数理モデルに基づくバスの運行シミュレーションです。緑の玉で表現されたバスはグルグルと道路上を循環運行し、バス停に着くと乗客の乗り降りが生じ、停止すると赤い玉で表示されます。このシミュレーションを見ると、最初は図1(a)のように各バスは等間隔で運行していますが、ある程度時間がたつと図1(b)のように玉がくっついた「ダンゴ運転」になっていくことがわかります。さらに、数理モデルを用いることで、現実の運行システムでは測定が困難な運行効率を測定することもできます。その結果、最も効率よく乗客を運ぶためにはどれくらいバスの台数を運行させるべきかを見積もることもできるのです。

このバスの運行モデルに乗客の乗り換えの効果を組み込んで拡張すると、図2のような鉄道路線の運行シミュレーションへと発展させることもできますし、発想の転換により、このバスの運行モデルはアリのダンゴ運転である行列行進(図3)を記述するモデルになっていることもわかります。バスは乗客が待っていると乗り

降りの時間が必要で動きが遅くなり、待っている乗客がいなければ乗り降りがなく速く動けます。一方、アリの動きはフェロモンがある場合に速くなり、フェロモンがない場合には遅くなるということが知られています。そこで、バスと乗客をアリとフェロモンに読み替えると、バスの運行モデルはアリの行列行進を表すシンプルな数理モデルとなるのです。このように、抽象的な数理モデルを用いて渋滞現象を扱うことで、工学システムとしての渋滞現象と生物界の渋滞現象が全く同じメカニズムとしてつながっていることがわかります。もしアリの動きで行列行進を回避する行動が発見されれば、そこからバスのダンゴ運転を緩和するヒントが見つかる可能性もあり、これこそが現象数理研究の醍醐味と言えるかもしれません。

渋滞現象について述べてきましたが、私たちが扱う現象数理学の特徴の一つは、このように様々な現象を抽象的な数理モデルに落とし込むことで、それらを統一的に取り扱うことが可能となる点です。そのためには、様々な分野の研究者との協調や知識の共有が不可欠であり、多分野への広がりを持った研究スタイルこそ、私たちの目指す現象数理学なのです。

角度から渋滞現象にアプローチをし、その性質を統一的に読み解いていくというものです。

渋滞現象の一つに、公共交通における「ダンゴ運転」という渋滞現象があります。バスがなかなか来ないと思っ